

超短波帯用方向性結合器形伝送量可変回路の設計に関する研究

著者	高橋 章
号	475
発行年	1979
URL	http://hdl.handle.net/10097/11424

氏 名	たか はし あきら 高 橋 章
授 与 学 位	工 学 博 士
学 位 授 与 年 月 日	昭 和 55 年 3 月 5 日
学 位 授 与 の 根 拠 法 規	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 32 年 3 月 東北大学大学院工学研究科電気及通信工学専攻修士課程修了
学 位 論 文 題 目	超短波帯用方向性結合器形伝送量可変回路の設計に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 佐藤利三郎 東北大学教授 斎藤 伸自 東北大学教授 重井 芳治 東北大学助教授 長沢 庸二

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 緒 言

伝送量可変回路は従来機械的に位相量，減衰量を変化するものが使われていたが，情報量の増加と共に，小形で高性能かつ高信頼性のものが必要となってきた。特に 1950 年代後半よりフェーズド・アレーアンテナの指向性制御機器などに使われるようになってから数多くの需要が起り，急速に研究が進み，いろいろな種類の回路が考案され発表されている。伝送量可変回路は古くから格子形回路（Lattice Network）による構成が幾多の人々によって研究されてきた。しかし格子形回路では可変インピーダンスが 4 ケ以上必要であり，しかも 1 対の可変インピーダンスは互に逆回路を保持する必要があるため，回路構成は複雑である。そのうえ格子形回路は平衡伝送を対象としているため，直接アースがとれず，超短波における取扱は不便であった。本論文はこのように諸回路を検討し，そのうちで超短波帯に有用な特性を調査し次の事項に着目し研究を行ったものである。

1. 小形，軽量化
2. 可変素子の簡略化
3. アースの影響を考慮（不平衡伝送）

第2章 結合線を用いた伝送量可変回路の解析と設計

伝送量可変回路の回路構成は主として結合2本線を用いており、解析は平衡・不平衡伝送理論を用いた。この理論は複雑な伝送モードを扱い易くすることと、アース上の影響が明確になる利点がある。この結合2本線に方向性結合器の考えを取り入れ、さらに2つの端子対に同等の可変インピーダンスを組み合わせた回路を基本としている。従来の結合2本線は基本の長さが4分の1波長のものが研究され、実用化されていたが、本研究の結果、結合2本線の長さ、特性インピーダンスの間に、一定の条件式を与えることにより結合線の長さが4分の1波長のものは勿論のこと『4分の1波長より短い結合線でも、可変インピーダンスに無関係に入力インピーダンスが負荷インピーダンスと等しく、しかも伝送量を変えることのできる伝送量可変回路』が存在することを明らかにした。これが本論文の一つの大きな特徴である。この可変インピーダンスに可変リアクタンスを用いると、そう入損失零で連続的に位相量を変え得る可変位相器(あるいは移相器)となり、また可変インピーダンスとして可変抵抗を用いると位相変化のない可変減衰器となる。

この結果着目した上記3つの項目に対し

1. 4分の1波長以下の短い結合線を用いる。
2. 可変インピーダンスとして同じものを2個用いる。
3. 位相量は 360° 以上、減衰量は $0\text{ dB} \sim \infty\text{ dB}$ までそれぞれ連続的に可変できる。

の性能を満たす伝送量可変回路の構成を求め、この回路の動作原理を明らかにし、可変位相器と可変減衰器の基本特性を明らかにした。

第3章 伝送量可変回路の広帯域化

まず方向性結合器の条件式を満足している基本回路の回路定数が、若干変化した場合の特性を算出した。この結果可変インピーダンスに対する定在波比(SWR)特性は、常に一定であり、整合条件から外れるにしたがい、SWRは悪化することを述べている。さらにこれを広帯域で動作する回路として2つの方式を提案する。1つは基本回路のまゝで広帯域化を図るもので、結合線の長さを電気角90度より僅か小さくすることにより、90度における特性は若干悪化するが帯域を広くする方法、他の1つは結合線を2等分し、その間に無結合線をそう入する方法で、回路は複雑となるが設計の自由度は増す。

伝送量可変回路の伝送量を広い範囲で変化するには、指定帯域で伝送量の変化幅に相当する可変インピーダンスの変化が必要である。本論文では新しいこゝろみとしてリアクタンス特性(可変)をキャパシタンスの関数(普通は周波数)として表わし、リアクタンスの変化幅の算出方法を検討した。その結果可変素子にバリコンを使用した場合、 180° 以上の位相変化を得るには2次のリアクタンスが必要であり、また 360° 以上の位相変化を得るには、4次のリアクタンスが必要であることを示し、その設計方法について述べている。

第4章 伝送量可変回路の実用化

伝送量可変回路を製作する際に生ずる特性劣化の原因を究明し、その補償方法を導き出し、特性劣化を最少限に押える方法を述べている。

伝送量可変回路を小形、安定に実現する手段として結合2本線を撚り線とし、さらにソレノイド状に巻く方法と、この撚り線を同軸ケーブルの中心導体と取り替えた構造の2つの方法を提案した。前者は小形化に役立ち、後者は広帯域化に役立つ。しかし結合2本線を撚ったり、ソレノイド状に形成すると、漏洩インダクタンス、誘電体の不均一、浮游容量などのために平衡および不平衡位相定数に差を生じ、あるいは平衡および不平衡特性インピーダンスに対する方向性結合条件を満足しなくなる。これは入力インピーダンスの劣化となって表われる。これらの特性を検討し、劣化の原因を明らかにした。これより補償方法を理論的に導き出し、容易に利用できるような数表に示した。

これらの理論を基礎として、伝送量可変回路の設計法を述べ、それにしたがって試作器を作った。その特性の測定値は計算値と良く合っていることを述べている。

第5章 集中定数形結合回路を用いた伝送量可変回路の小形化

伝送量可変回路を集中定数回路で構成すると、分布定数回路と比較して、大幅な小型化ができる。集中定数の回路構成の基本的思想は、前章と同じで、結合回路と可変インピーダンスより構成されている。まず結合回路が集中定数形方向結合条件を満足している場合に可変インピーダンスがどのように変化しても、入力インピーダンスと負荷抵抗が等しくなる条件式を導き出し、この条件式を基準として集中定数形伝送量可変回路の基本特性を述べている。

ついで超短波帯において、方向性結合条件の1つである密結合（結合係数＝1）回路の実現が困難なため、方向性結合条件を満足させることは非常に難しい。しかし結合回路の4つの端子と大地の間にコンデンサを接続する新しい補償回路を見出し、限定された範囲では密結合回路と等価な特性が得られることを明らかにしている。

さらに可変インピーダンスが異なる値で変化する場合、あるいは結合回路の出力が等分配でない場合の特性などについて検討した。この結果導き出した設計法は回路の製作の上で非常に有効である。この設計法に基づき試作器を製作し、関連の実験を行ない、理論的解析および設計結果のうらづけをし、回路の特性を一層明らかにしたものである。

第6章 伝送量可変回路の使用例

伝送量可変回路が電気機器において、どのように使用されているか駆動回路なども含めて回路図で具体的に示し、その効果を表示した。使用例としては共同受信施設、空中線位相制御装置および八木アンテナの指向性可変装置である。このように伝送量可変回路を利用することにより、電気機器に新しい用途を生み出し、情報伝送の高品質化に寄与すること大であり、その発展は大いに期待できるものである。

第7章 結 言

方向性結合器形伝送量可変回路を，一つの理論式を用いて解析し，多くの新しい現象を知ることができた。特に結合線が所定の条件式を満足すると，可変インピーダンスがどのように変化しても入力インピーダンスが負荷抵抗と等しくなる伝送量可変回路が存在することを理論的に算出することができた。

さらに結合線を小形に構成する際に生ずる特性劣化について検討し，その補償方法を見出し，超短波帯における方向性結合器形伝送量可変回路の設計法を確立することができた。

審 査 結 果 の 要 旨

伝送量可変回路については、従来、格子形回路を基本とする回路が主として実用化されてきた。しかしながら、超短波帯のように使用周波数が高くなると、性能が劣化し、その改良によっても種々の問題を派生して、製品化するにはなお検討すべきことが多く残されていた。著者は各種の伝送量可変回路を比較検討し、その結果として新しい回路を提案している。すなわち、方向性結合器に使われる結合二本線路素子を基本として、それに2個の可変インピーダンスを組合せた構造の回路によって、超短波帯伝送量可変回路が得られることを確めている。本論文はそれらの研究成果をまとめたもので全文7章より成る。

第1章は緒論である。第2章では基本となる伝送量可変回路の構成と、伝送特性式を与えている。有限長結合二本線路の線路定数に特定の条件を付加し、2個の線路端のそれぞれに等しい可変インピーダンスを接続し、残りの2個の線路端を入出力端子対にした場合の伝送特性である。この結果、可変インピーダンスとして可変リアクタンスを用いれば可変位相器となり、また可変抵抗を用いれば可変減衰器となることが示される。

第3章では、伝送量可変回路の広帯域化について述べている。広帯域化に対して最も支配的なのは、回路の入出力インピーダンスと外部回路との間の整合条件であることを指摘し、整合条件に若干の余裕度を与えた場合に使用可能な帯域幅を計算している。

第4章では、実際に製品化するために小形化を試み、派生する問題点とその解決法について理論と実験とから検討している。結合二本線の部分を撚り線によるコイル状巻線にすることによって小形化に成功している。撚り線にしたために生ずる伝送特性の変化を補償するためには、線路定数の若干の変更をすれば良いことを理論的に述べ、実測を行って実用的に十分な特性の回路を得ている。

第5章では、伝送量可変回路の結合二本線路の部分を集中定数形結合線輪に置き換えて構成する方法について述べ、高周波における密結合変成器の実現の困難さを考慮して、リアクタンスによる特性補償法について述べている。

第6章では、これらの回路を実際の伝送システムに応用した事例について述べている。共同受信施設、空中線位相制御およびアンテナの指向性制御などに対する実施例について説明している。

第7章は結論である。

以上要するに、本論文は超短波帯における伝送量可変回路について、結合回路と2つの等しい可変インピーダンスの組合せで構成する新しい構成法を提案し、実用上における種々の問題に対する解決法を明らかにしたもので通信工学の発展に資するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。